



X CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODESIA

INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

INSTITUTO POLITÉCNICO DA GUARDA

02 – 03 NOVEMBRO 2023

# SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO PARA A GESTÃO E CONTROLO DAS AJUDAS DIRETAS AOS AGRICULTORES NO CONTEXTO DA POLÍTICA AGRÍCOLA COMUM (PAC) COM BASE EM IMAGENS SENTINEL-2: O CASO DE PORTUGAL CONTINENTAL

Ana NAVARRO<sup>1</sup>, Inês SILVA<sup>2</sup>, João CATALÃO<sup>1</sup> e João FALCÃO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto Dom Luiz, Lisboa, Portugal

<sup>2</sup> Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Lisboa, Portugal

<sup>3</sup> Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas (IFAP), 1649-034 Lisboa, Portugal

(acferreira@ciencias.ulisboa.pt; inescrv@gmail.com; jcfernandes@ciencias.ulisboa.pt; Joao.Falcao@ifap.pt)



ORDEM  
DOS  
ENGENHEIROS

# AGENDA

Enquadramento

Objetivo

Área de teste

Dados

Métodos

Resultados e discussão

Conclusões



X CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODESIA

INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

02 – 03 NOV. INSTITUTO POLITÉCNICO DA GUARDA



ORDEM  
DOS  
ENGENHEIROS

# ENQUADRAMENTO

Os Estados Membros da União Europeia foram incentivados a desenvolver novos procedimentos, baseados na análise automática de dados de **Observação da Terra (OT)**, para a gestão e controlo das ajudas diretas aos agricultores, como parte da reforma da **Política Agrícola Comum (PAC)** ocorrida em 2020

Nesta reforma é destacada a mais-valia da utilização de dados das **missões Copernicus Sentinel** e de **algoritmos de aprendizagem automática** como forma de **substituir a atual tarefa de verificação no terreno (*on-the-spot checks*)** de 5% dos dados declarados pelos agricultores, a qual constitui um processo complexo dado que requer a deslocação ao local de técnicos qualificados



X CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODÉSIA

INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

02 – 03 NOV. INSTITUTO POLITÉCNICO DA GUARDA



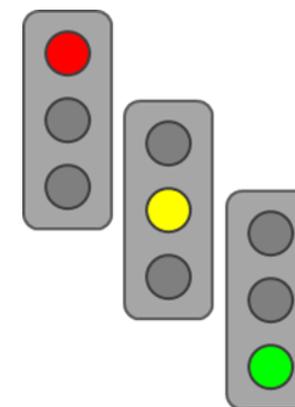
ORDEM  
DOS  
ENGENHEIROS

## OBJETIVO

Desenvolvimento de um sistema de monitorização de parcelas agrícolas com base em séries temporais de **imagens Sentinel-2** e **algoritmos de aprendizagem automática** que funcione como um **sistema de “semáforos”**, devolvendo um alerta com 3 cores possíveis: **verde** quando o tipo de cultura está em conformidade com a declaração do agricultor, **vermelho** quando a conformidade não é verificada e **amarelo** em casos inconclusivos

Os alertas são gerados à medida que os dados de OT vão alimentando o sistema permitindo, no decorrer do ano agrícola, não só **informar proativamente os agricultores no caso de eventuais problemas** no desenvolvimento da cultura, mas também **prevenir falsas declarações**

Abordagem de diversas questões relacionadas com o **número e a qualidade da amostra de treino**, a existência de **dados de treino desequilibrados** (subestimação das culturas menos representativas), a sensibilidade à **dimensionalidade e complexidade das variáveis** (variáveis mais relevantes) e a **variabilidade sazonal e regional das culturas**

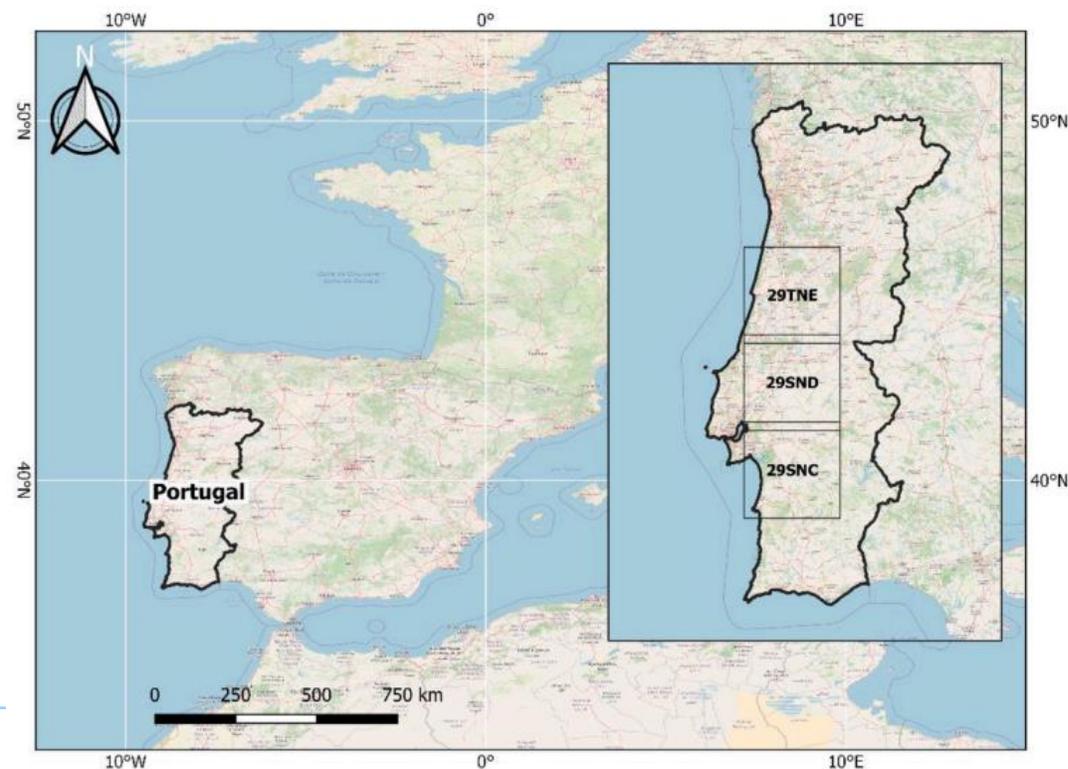


# ÁREA DE TESTE

A área de teste cobre praticamente a área de **três quadrículas UTM/WGS84 do Sentinel-2** (29TNE, 29SND e 29SNC), correspondendo a cerca de 30 000 km<sup>2</sup>

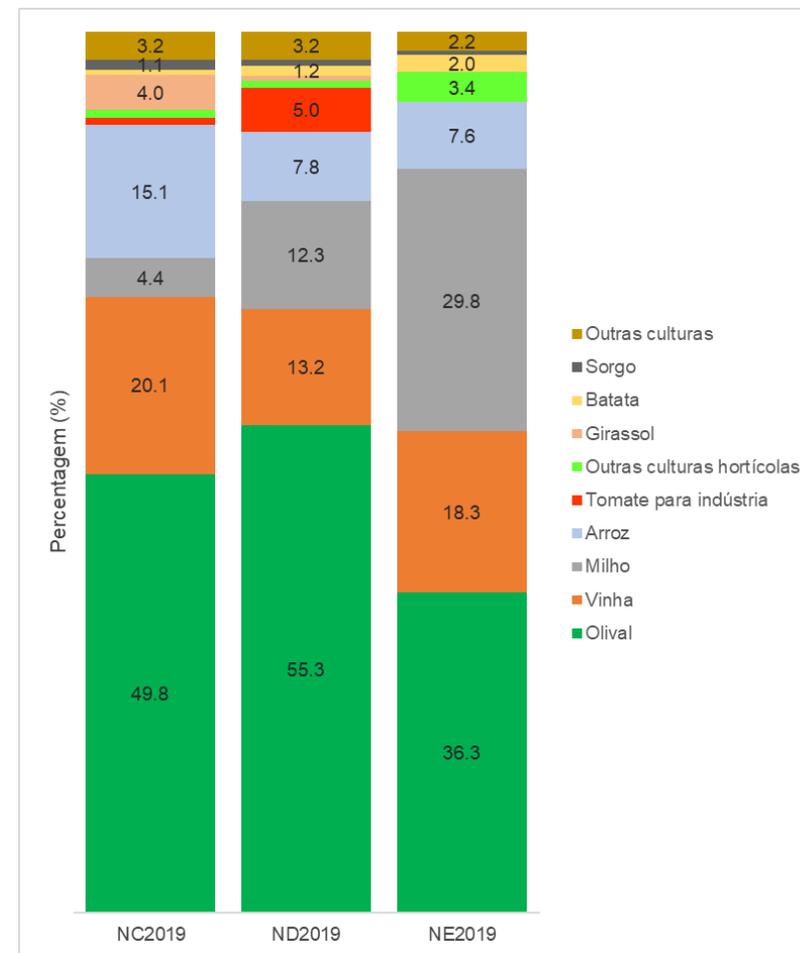
A área de teste compreende, não só a **maioria das culturas cultivadas no país**, mas é também caracterizada por uma grande **variedade de práticas agrícolas** e **parcelas com dimensões e geometrias muito distintas**

A área de teste é caracterizada por **um clima temperado** e por um **relevo acentuado** a Norte do Rio Tejo e por um **relevo mais suave** a Sul, interrompido por algumas colinas e montes



# ÁREA DE TESTE

Nas 3 quadrículas as culturas dominantes são o **olival**, a **vinha**, o **milho** e o **arroz**, sendo que nas quadrículas NC e ND existe ainda a cultura do tomate para indústria e de frutos secos (amêndoa e castanha), e na quadrícula NE a cultura da batata e do feijão, embora em menor quantidade



X CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODÉSIA

INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

02 – 03 NOV. INSTITUTO POLITÉCNICO DA GUARDA



ORDEM  
DOS  
ENGENHEIROS

# DADOS

## Imagens Sentinel-2

44 imagens Sentinel-2 com o nível-2A de processamento e menos de 30% de cobertura nebulosa, adquiridas de abril a setembro de 2019

Imagens Sentinel-2 adquiridas de abril a setembro de 2019 com menos de 30% de nuvens para cada quadrícula (NE, ND e NC)

		Abril		Maio			Junho				Julho				Agosto					Setembro						
		30	05	10	15	25	30	09	19	24	29	14	19	24	29	03	08	13	18	23	28	02	07	12	22	27
2019	NE																									
	ND																									
	NC																									

## Dados do Sistema de Identificação Parcelar (SIP)

Localização geográfica e delimitação de parcelas agrícolas e informação relativa à cultura declarada pelo agricultor no ano agrícola de 2019 – IFAP

Dimensionalidade das variáveis utilizadas: 9 bandas Sentinel-2 (B2 a B8, B11 e B12), o índice de clorofila no limiar do vermelho (CI\_RedEdge) e o elemento de textura GLCM média.

Ano/ Quadrícula	Nº parcelas de referência	Nº imagens com menos de 30% nuvens	Nº bandas originais	Nº de bandas interpoladas	Nº índices de vegetação	Nº elementos de textura
2019 NE	61 980	13	117			
2019 ND	44 563	16	144	225	25	25
2019 NC	25 137	15	135			



X CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODÉSIA

INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

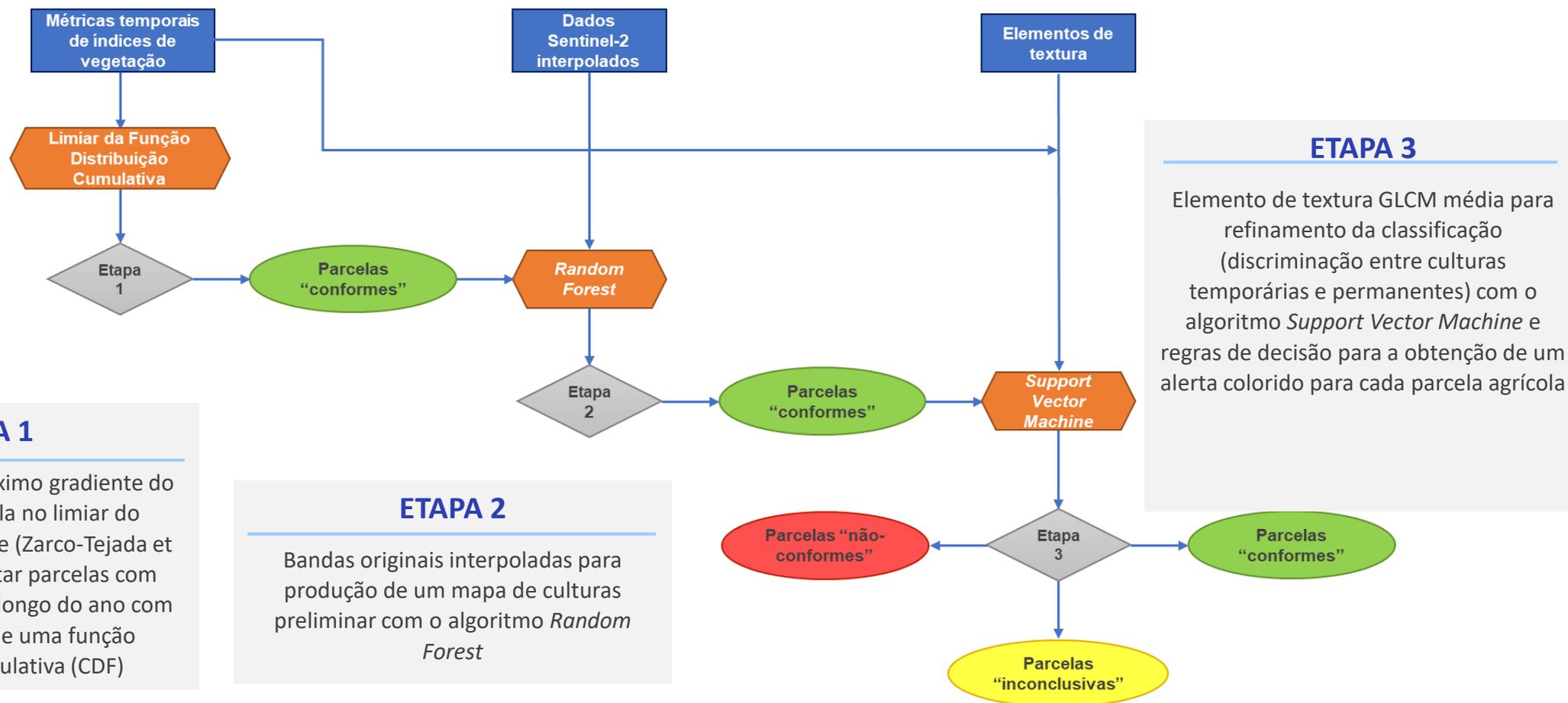
02 – 03 NOV. INSTITUTO POLITÉCNICO DA GUARDA



ORDEM  
DOS  
ENGENHEIROS

# MÉTODOS

## Abordagem hierárquica assente num sistema de “semáforos”



X CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODÉSIA

INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

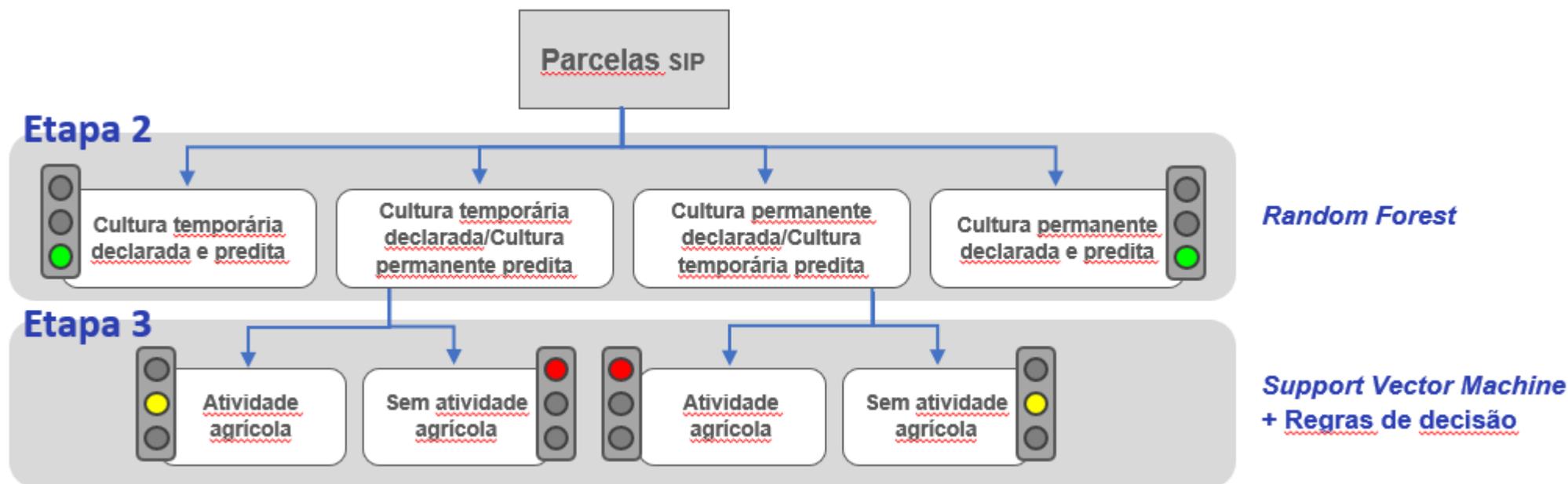
02 – 03 NOV. INSTITUTO POLITÉCNICO DA GUARDA



ORDEM DOS ENGENHEIROS

# MÉTODOS

A identificação de algumas parcelas, no mapa de culturas preliminar (Etapa 2), com culturas temporárias incorretamente classificadas como “não-conformes”, predominantemente vinha e olival, dada a sua elevada representatividade, originou a etapa de refinamento (Etapa 3), cujo objetivo é discriminar se uma dada parcela corresponde a uma cultura temporária ou permanente

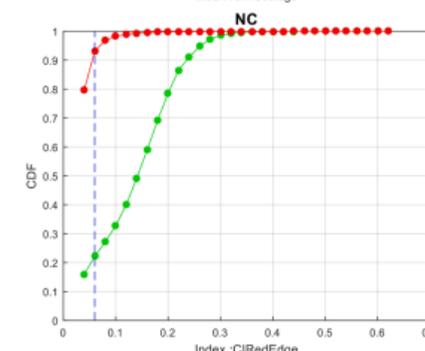
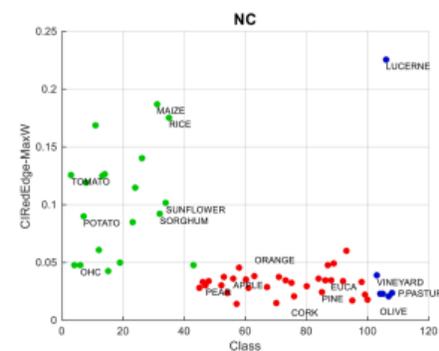
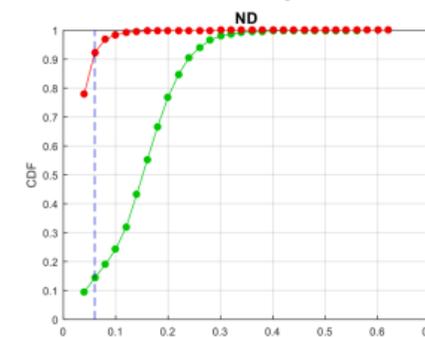
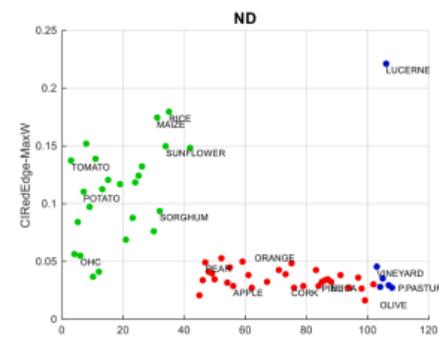
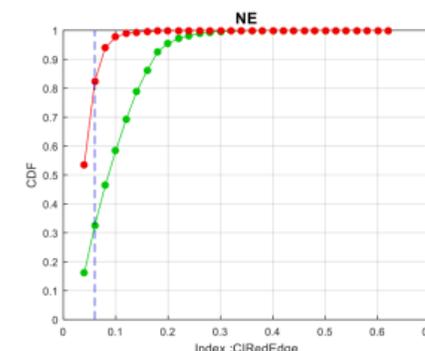
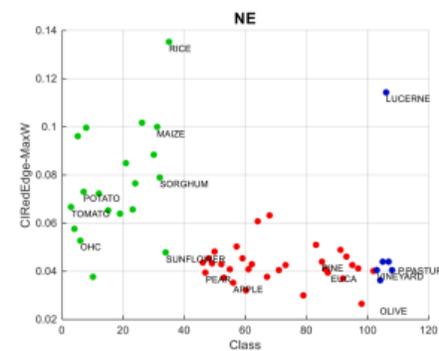


# RESULTADOS E DISCUSSÃO – Etapa 1

O limiar de separabilidade entre culturas permanentes e temporárias foi definido através da **maximização da probabilidade** de uma parcela corresponder a uma cultura permanente

Graficamente corresponde à **máxima distância entre as curvas vermelho e verde** na figura, observando-se que o **valor 0.06** (linha vertical azul a tracejado) do **CIRedEdge** corresponde a mais de 80% (NE) e 90% (ND e NC) de probabilidade de uma parcela ter uma cultura permanente

Todas as parcelas que não obedecessem a este limiar foram excluídas do treino/validação dos algoritmos de classificação utilizados nas etapas seguintes



X CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODÉSIA

INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

02 – 03 NOV. INSTITUTO POLITÉCNICO DA GUARDA



Ciências  
U Lisboá



IFAP  
Instituto de Financiamento  
da Agricultura e Pescas, I.P.



ORDEM  
DOS  
ENGENHEIROS

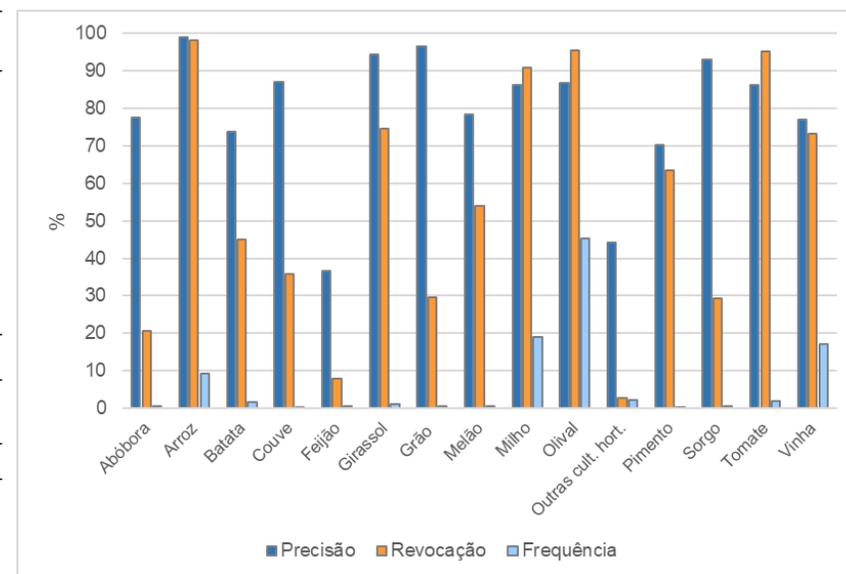
## RESULTADOS E DISCUSSÃO – Etapa 2

O mapa de culturas preliminar resultante da aplicação de um modelo *Random Forest* apresentou uma **exatidão global de 86%** e um **coeficiente kappa de 0.8**, sendo a maior parte das confusões foram observadas entre as culturas permanentes de olival e vinha e entre estas e as restantes culturas temporárias

Matriz de erro correspondente à classificação com o algoritmo *Random Forest* da série temporal Sentinel-2 interpolada.  
As colunas representam a predição e as linhas os dados de referência.

	Arroz	Girassol	Milho	Olival	Tomate	Vinha	Total	Freq. (%)	Revocação (%)	F1-score
Arroz	2929	0	39	15	0	1	2986	9.07	98.09	<b>0.99</b>
Girassol	2	236	9	41	14	13	316	0.96	74.68	<b>0.83</b>
Milho	12	1	5706	294	10	210	6274	19.06	90.95	<b>0.89</b>
Olival	0	1	83	14235	0	592	14917	45.31	95.43	<b>0.91</b>
Tomate	1	1	11	4	585	9	614	1.87	95.28	<b>0.90</b>
Vinha	1	0	85	1407	1	4078	5577	16.94	73.12	<b>0.75</b>
Total	2955	250	6609	16401	679	5290	32920			
Precisão (%)	99.1	94.4	86.34	86.79	86.2	77.09	100	NA	NA	NA

**Overall Accuracy = 86%, Kappa score= 0.8, F1-score = 0.84**



X CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODÉSIA

INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

02 – 03 NOV. INSTITUTO POLITÉCNICO DA GUARDA



Ciências  
Ulisboa



IFAP  
Instituto de Financiamento  
da Agricultura e Pescas, I.P.



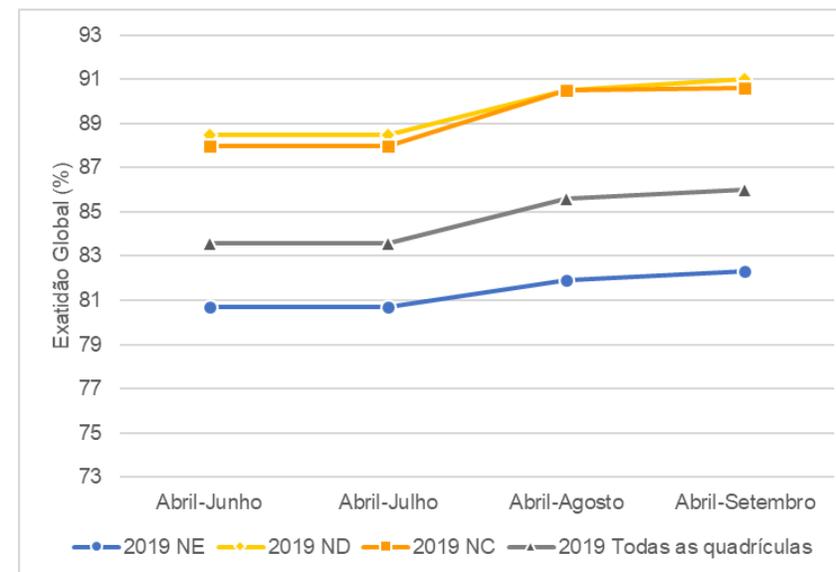
ORDEM  
DOS  
ENGENHEIROS

## RESULTADOS E DISCUSSÃO – Etapa 2

Classificações efetuadas com diferentes períodos da estação de desenvolvimento das culturas temporárias:

- **Abril a meados de Junho** (início da fase de crescimento)
- **Abril a meados de Julho** (final da fase de crescimento)
- **Abril a meados de Agosto** (maturação)
- **Abril a final de Setembro** (senescência/colheita)

mostraram que os valores de exatidão global obtidos até à **fase de maturação (85.6%)** são muito semelhantes aos valores obtidos com a **série temporal completa (86.2%)**, implicando que a resposta espectral durante a fase de crescimento rápido e de maturação são determinantes para a discriminação das culturas



Valores de F1-score obtidos para as principais culturas usando diferentes períodos da estação de desenvolvimento das culturas.

Data	Período	Cultura / F1-score							Exatidão Global (%)	
		Arroz	Girassol	Milho	Olival	Outras cult. hort.	Sorgo	Tomate		Vinha
2019 Todas as quadriculas	Abril-Junho	0.98	0.67	0.84	0.90	0.02	0.17	0.80	0.72	83.5
	Abril-Julho	0.98	0.76	0.88	0.90	0.03	0.37	0.86	0.73	83.6
	Abril-Agosto	0.98	0.79	0.88	0.91	0.06	0.32	0.89	0.74	85.6
	Abril-Setembro	0.99	0.83	0.88	0.91	0.06	0.41	0.90	0.76	86.0



X CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODÉSIA

INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

02 – 03 NOV. INSTITUTO POLITÉCNICO DA GUARDA

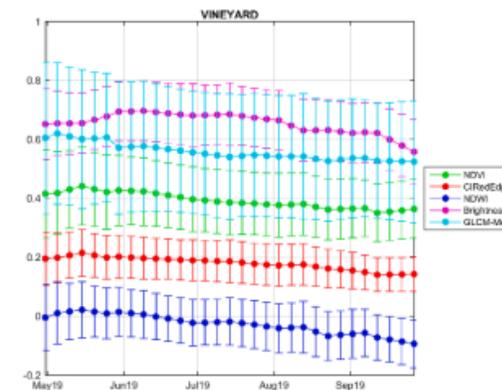
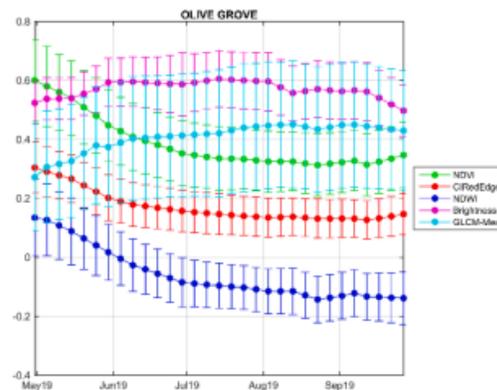
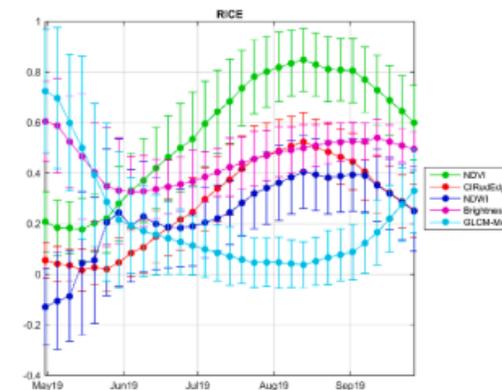
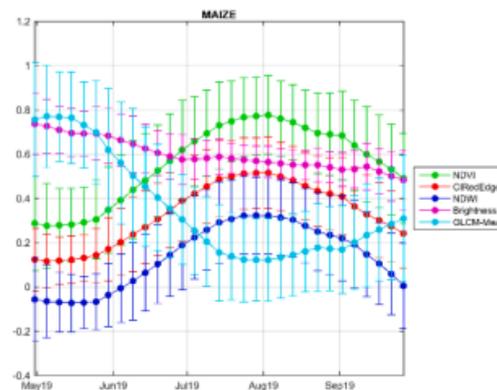


ORDEM DOS ENGENHEIROS

## RESULTADOS E DISCUSSÃO – Etapa 3

Com base no pressuposto de que uma cultura permanente apresenta uma textura mais pronunciada do que a de uma cultura temporária, e que o seu comportamento espectral ao longo do tempo se mantém relativamente constante, o **elemento de textura GLCM média** foi utilizado para melhorar a validação das declarações dos agricultores

As parcelas do SIP foram classificadas em 2 categorias (culturas temporárias e permanentes) usando o algoritmo *Support Vector Machine*, sendo que o elemento de textura proporcionou um **aumento no valor de F1-score das culturas de olival e de vinha (0.97)**, comparativamente aos valores obtidos com o algoritmo *Random Forest*: olival (0.91) e vinha (0.75)



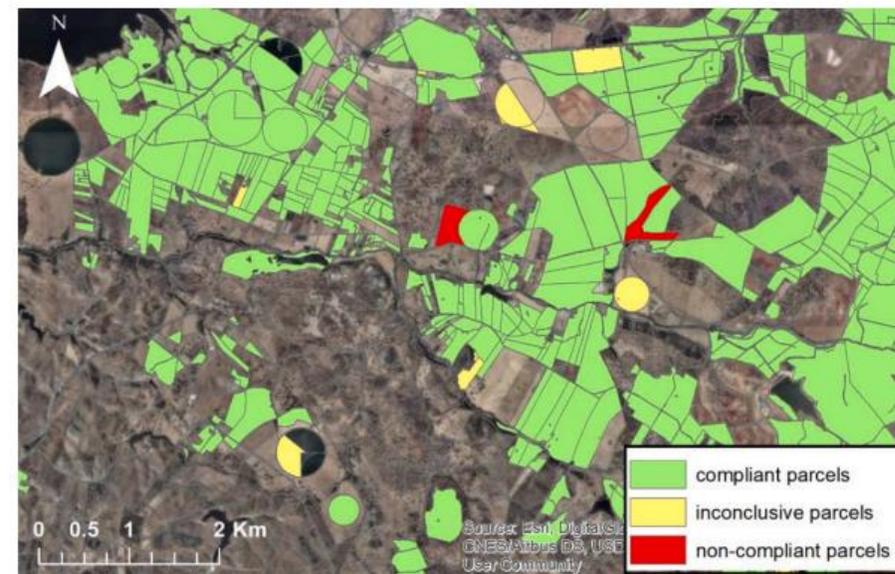
## RESULTADOS E DISCUSSÃO – Etapa 3

A aplicação das regras de decisão possibilitou a associação de um **alerta colorido** a cada parcela do SIP, distinguindo-as como:

- Parcelas “conformes” (verde)
- Parcelas “incoclusivas” (amarelo)
- Parcelas “não-conformes” (vermelho)

sendo que, de todas as parcelas consideradas, **96.5% foram assinaladas como “conformes”**, 2.5% como “inconclusivas” e 1% como “não-conformes”

Erros do Tipo I e II foram calculados para avaliar a fiabilidade do sistema de monitorização de culturas, tendo sido obtido um erro do **Tipo I de 1.1%**, relativo ao número de declarações corretas classificadas como “não-conformes”, e um erro do **Tipo II de 2.7%**, correspondente ao número de parcelas incorretamente assinaladas como “conformes”



Erros do Tipo I e do Tipo II obtidos para o ano agrícola de 2019

		Inspeções no terreno (on-the-spot checks)		
		Cultura confirmada	Problema encontrado	Total
Sistema de monitorização	Cultura confirmada	1 419	71	1 490
	Problema encontrado	16	2	18
Total		1 435	73	1 508



# CONCLUSÕES

Com o sistema de monitorização desenvolvido com base em dados do programa Copernicus e algoritmos de aprendizagem automática é possível **reduzir o número de inspeções no terreno**, bem como **inspecionar apenas os casos suspeitos**, em alternativa a uma inspeção aleatória de 5% de todas as parcelas declaradas em cada ano agrícola

Apesar de algumas limitações do sistema, este permite uma tomada de decisão efetiva relativamente à conformidade das declarações dos agricultores, dado que **sinaliza apenas 1.1% das parcelas com declarações corretas como “não-conformes”** e **não deteta apenas 2.7% das falsas declarações** (ambos valores abaixo do valor máximo admissível de 5%)

Tendo sido testado para uma vasta área de Portugal continental, este sistema pode potencialmente ser **escalado para um âmbito nacional** através da inclusão de **dados Sentinel-1**, para melhorar a predição de um maior número de culturas, especialmente no início e no final da época de desenvolvimento das culturas, e de **técnicas de transferência do treino em tempo e no espaço**, como forma de aumentar a representatividade de algumas culturas

